

ТОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ЦЕЛИ ПРИ КОМПЛЕКСНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДАННЫХ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ И РАЗНОСТНО- ДАЛЬНОМЕРНОЙ СИСТЕМ

Товкач И. О., к.т.н.; Жук С. Я., д.т.н., профессор; Балакирев М. В., студент

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», г. Киев, Украина

Важное практическое значение имеет создание интегрированных комплексов мониторинга окружающего пространства на основе радиолокационной (РЛС) и разностно-дальномерной (РДС) систем, которые позволяют совместно реализовать преимущества активных и пассивных радиотехнических систем. Представляет интерес определение точностных характеристик координатной информации о цели при комплексном использовании измерений РЛС и РДС.

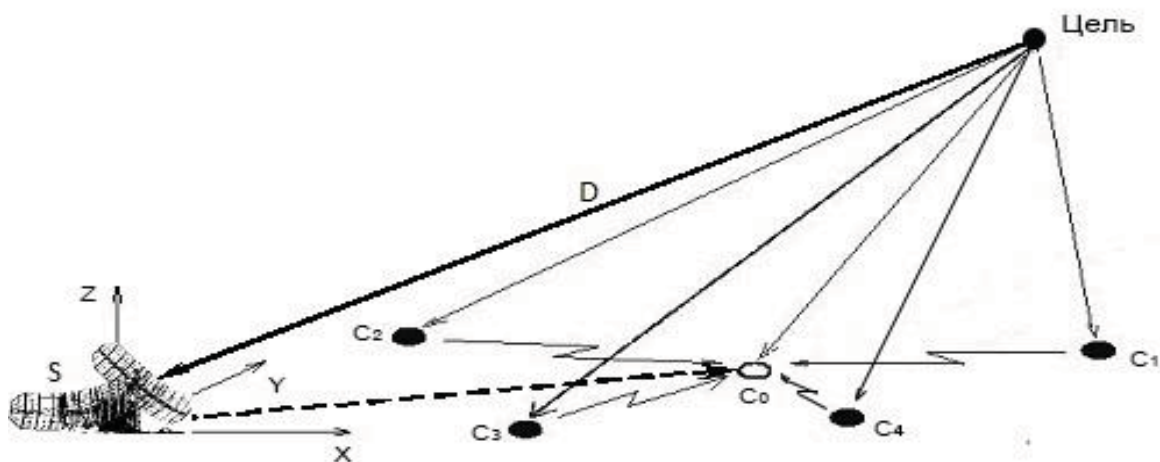


Рисунок 1

Уравнения измерения РЛС в связанной с ней декартовой системе координат (СК) являются нелинейными и описываются выражениями рис.1

$$x_I = r_I \cos \varepsilon_I \cos \beta_I; \quad y_I = r_I \cos \varepsilon_I \sin \beta_I; \quad z_I = r_I \sin \varepsilon_I, \quad (1)$$

где r_I , β_I , ε_I — измеренные РЛС дальность, азимут, и угол места цели; x_I , y_I , z_I — пересчитанные в декартовую СК координаты цели.

Выполнив линеаризацию выражений (1), уравнение наблюдения РЛС в декартовой СК можно привести к виду (2)

$$\mathbf{u}_{RLS} = \mathbf{u}_1 + \mathbf{v}, \quad (2)$$

где $\mathbf{u}_1 = (x_1, y_1, z_1)^T$ — вектор, включающий истинные координаты цели в декартовой СК; $\mathbf{u}_{RLS} = (x_I, y_I, z_I)^T$ — вектор измерения; $\mathbf{v} = (v_x, v_y, v_z)^T$ —

вектор ошибок измерения с корреляционной матрицей $\mathbf{P}_{RLS} / 1/$.

При определении координат цели в пространстве на основе метода МНК, РДС должна состоять не менее чем из пяти станций [2] рис. 1. Уравнения измерения РДС в связанной с опорной станцией декартовой СК имеют вид

$$d_{i0} = R_i - R_0 + v_i - v_0, \quad i = \overline{1, n}, \quad (3)$$

где $R_i, i = \overline{0, n}$ — расстояние между i -й станцией и целью; $d_{i0}, i = \overline{1, n}$ — измеренная разность расстояний; $v_{i0}, i = \overline{0, n}$ — ошибка измерений дальностей с дисперсией σ_v^2 .

Для определения местоположение цели вводится вектор $\mathbf{u}_2 = (x_2, y_2, z_2, R_0)^T$, что позволяет свести нелинейную систему уравнений измерений РДС (3) к линейной. С использованием метода наименьших квадратов оценка \mathbf{u}_{RDS} вектора \mathbf{u}_2 и корреляционная матрица ошибки оценки определяются по формулам [3]:

$$\mathbf{u}_{RDS} = 0.5 (\mathbf{A}^T \mathbf{\Sigma}^{-1} \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{\Sigma}^{-1} \mathbf{b}; \quad (4)$$

$$\mathbf{P}_{RDS} = \left(\left(\overline{\mathbf{A}^0} \right)^T (\mathbf{B} \mathbf{\Sigma} \mathbf{B})^{-1} \overline{\mathbf{A}^0} \right)^{-1}. \quad (5)$$

В качестве единой выберем СК РЛС. Будем полагать, что одноименные оси систем координат РДС и РЛС коллинеарны и измерения выполняются в одинаковые моменты времени. С использованием метода максимального правдоподобия оценка $\mathbf{u}_{RLS+RDS}$ координат цели и корреляционная матрица ошибки оценки $\mathbf{P}_{RLS+RDS}$ по данным РЛС и РДС определяются по формулам

$$\mathbf{u}_{RLS+RDS} = \mathbf{P}_{RLS+RDS} \left((\mathbf{P}_{RDS})^{-1} (\mathbf{u}_{RDS} + \mathbf{u}_{C0_RLS}) + (\mathbf{P}_{RLS})^{-1} \mathbf{u}_{RLS} \right); \quad (6)$$

$$\mathbf{P}_{RLS+RDS} = \left((\mathbf{P}_{RDS})^{-1} + (\mathbf{P}_{RLS})^{-1} \right)^{-1}. \quad (7)$$

В рассматриваемом примере станции РДС имеют координаты в СК РДС: С0 (0; 0), С1 (30; 0), С2 (0; 29), С3 (-29; -5), С4 (10; -27) км. СКО ошибки измерения $\sigma_v = 12$ м. СКО ошибок измерения РЛС $\sigma_r = 300$ м, $\sigma_\beta = 0.16^\circ$, $\sigma_\varepsilon = 0.16^\circ$. Цель находится на окружности радиуса 150 км. В качестве показателя эффективности использовалось круговое СКО $\sigma = \sqrt{\hat{\sigma}_x^2 + \hat{\sigma}_y^2}$. На рис. 2. показаны зависимости фактического (кривая 1, кривая 3) и теоретического (кривая 2, кривая 4) кругового СКО ошибки оценки местоположения цели для РДС и РЛС, соответственно, а также показаны зависимости фактического (кривая 5) и теоретического (кривая 6) кругового СКО ошибки

оценки местоположения цели по объединенным данным от РЛС и РДС.

Как следует из рис. 2 использование данных от двух систем позволяет уменьшить круговое СКО ошибки оценки местонахождения цели в 1.7 раза.

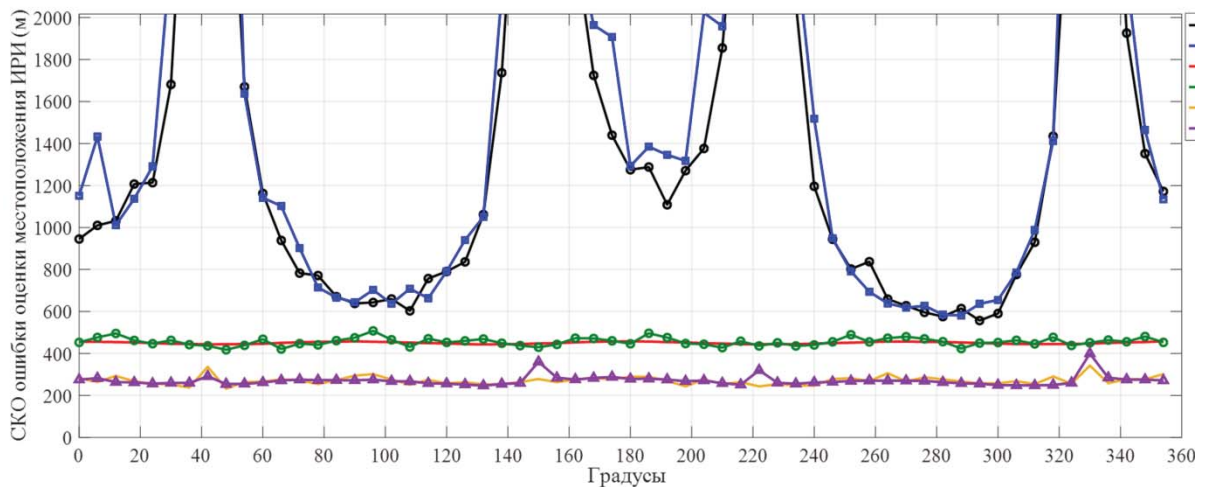


Рисунок 2

Литература

1. Фарина А. Цифровая обработка радиолокационной информации. Сопровождение целей / А. Фарина, Ф. Студер.; пер. с англ. А.М.Бочкарева; под ред. А.Н. Юрьева. — М.: Радио и связь, 1993. — 320с.
2. Симаков В.А. Построение адаптивных систем пассивной радиолокации на принципах разностно-дальномерной координатометрии / В.А. Симаков // Научные ведомости Белгородский государственный университет . — 2005. — №2. — С. 221.
3. I.O. Tovkach, S.Ya. Zhuk (2017). Recurrent Algorithm for TDOA Localization in Sensor Networks, J. Aerosp. Technol. Manag., São José dos Campos, Vol.9, №4, pp.489-494, Oct.-Dec., 2017. <http://dx.doi.org/10.5028/jatm.v9i4.727>

Анотація

За допомогою статистичного моделювання проведено аналіз точносних характеристик визначення координат цілі при комплексному використанні даних радіолокаційної і різницево-далекомірної систем.

Ключові слова: радіолокаційна система, різницево-далекомірна система, точності характеристики, комплексування.

Аннотация

С помощью статистического моделирования проведен анализ точностных характеристик определения координат цели при комплексном использовании данных радиолокационной и разностно-дальномерной систем.

Ключевые слова: радиолокационная система, разностно-дальномерная система, точностные характеристики, комплексирование.

Abstract

Using statistical modeling, an analysis of the accuracy characteristics of determining the coordinates of the target in the integrated use of data from radar and differential-range systems.

Keywords: radar system, differential rangefinder system, accuracy characteristics, integration.